

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení

Systemy mazání ložisek olejovou mlhou

Systeme of Spray Lubrication of Bearings

Student: Ervín Kostka

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Bohuslav Pavlok, CSc.

Ostrava 2010

Zadání bakalářské práce

Student: **Ervín Kostka**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2302R007 Hydraulické a pneumatické stroje a zařízení
Téma: **Systémy mazání ložisek olejovou mlhou**
Systeme of Spray Lubrication of Bearings

Zásady pro vypracování:

1. Provedte rešerši systémů centrálního mazání se zaměřením na mazací systémy směsí oleje se vzduchem.
2. Na základě rešerše zpracujte dvě varianty mazání ložisek směsí oleje se vzduchem pro vřeteník brusky, se zaměřením na systém mazání olejovou mlhou a na systém kapénkového mazání. Vyberte výhodnější řešení.
3. Provedte výpočet mazací dávky.
4. Vypracujte funkční schéma vybraného mazacího systému s uvedením všech základních parametrů a specifikací prvků.

Seznam doporučené odborné literatury:

ŠTÁVA, P.; PAVLOK, B. *Mazací technika*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2006. 76 s. ISBN 80-248-1000-X.

KOLEKTIV AUTORŮ. *Schmierungstechnik. Zentralschmieranlagen*. Berlin: Willy Vogel A.G., 1996. 190 s.

DRESSLER, D. M. *An Experimental Investigation of Newtonian and Non-Newtonian Spray Interaction with a Moving Surface*. British Columbia: The University of British Columbia, 2006. (Thesis).

Firemní literatura: SKF, Vogel, Tribotec Brno, Graco-Lubriquip, Delimon, Baier a Köppel.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Bohuslav Pavlok, CSc.**

Konzultant bakalářské práce: Ing. Jan Soustružník

Datum zadání: 18.12.2009

Datum odevzdání: 21.05.2010

Kozubková

doc. RNDr. Milada Kozubková, CSc.
vedoucí katedry



Farana

prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou (bakalářskou) práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB–TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou (bakalářskou) práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové (bakalářské) práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB–TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové (bakalářské) práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB–TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB–TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou (bakalářskou) práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB–TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB–TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě:

.....

podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Ervín Kostka

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Hrádek 444

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Kostka, E. Systémy mazání ložisek olejovou mlhou: bakalářská práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení, 2010, 43 s. Vedoucí práce: Pavlok, B.

Bakalářská práce se zabývá problematikou a návrhem mazacího systému pomocí směsi oleje a vzduchu. V úvodu je nastíněn současný stav řešení mazání pomocí olejové mlhy a pomocí kapének. Oba uvedené způsoby mazání jsou popsány a vzájemně porovnány. Druhá kapitola obsahuje výběr mazacího systému pro oba druhy mazání a konečnou volbu mazacího systému. Ve třetí kapitole je představeno řešené zařízení – vřeteník brusky a jsou vypočteny mazací dávky oleje pro jednotlivá ložiska a spotřeba vzduchu. Další kapitola obsahuje funkční schéma mazacího systému, v páté kapitole je uvedena specifikace prvků a v závěru jsou shrnuty dosažené výsledky. V příloze předkládám montážní výkres vřeteníku, kusovník a výrobní výkresy rozváděcích kroužků oleje.

ANOTATION OF THESIS

Kostka, E. Systeme of Spray Lubrication of Bearings: Bachelor Thesis. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Hydrodynamics and Hydraulic Equipment, 2010, 43 p. Thesis head: Pavlok, B.

Bachelor Thesis is dealing with questions and design of lubrication system with air and oil mixture. The introduction outlines the present state of lubrication solution using oil mist and droplets (air – oil). Both shown lubrication methods are described and compared to each other. The second chapter contains selection of lubrication system for both lubrication methods and the last choice of lubrication system. At the third chapter the solved machine is presented – spindle head of grinding machine, and amounts of oil and air consumption are calculated. The next chapter contains an operation diagram, at the fifth chapter there is a specification of used parts and at the end of the Thesis there is summary of attained results. In an Appendix I am presenting an assembly drawing of the spindle head, a piece list and production drawings of oil distribution rings.

Obsah

Seznam použitých značek a symbolů	8
Úvod.....	10
1 Přehled současného stavu řešené problematiky	11
1.1 Princip a funkce mazání směsi oleje se vzduchem	11
1.2 Mazání olejovou mlhou.....	12
1.3 Kapénkové mazání	15
1.4 Mazací oleje.	18
1.5 Mazací trysky.	24
2 Volba typu mazacího systému	27
3 Výpočet mazací dávky	28
3.1 Popis mazaného zařízení	28
3.2 Určení mazací dávky	32
3.3 Průtok nosného vzduchu	34
4 Funkční schéma mazacího systému	36
4.1 Popis obvodu.....	36
4.2 Popis funkce mazacího systému	36
5 Specifikace prvků	39
6 Závěr.....	41
7 Seznam použité literatury	42
8 Seznam příloh	43

Seznam použitých značek a symbolů

<i>Značka</i>	<i>název</i>	<i>jednotka</i>
B	šířka ložiska	$[m]$
D	vnější průměr ložiska	$[m]$
DN	parametr ložiska	$[mm \cdot min^{-1}]$
DN_L	parametr ložiska L (obecně)	$[mm \cdot min^{-1}]$
Q	spotřeba oleje	$[m^3 \cdot s^{-1}]$
Q_L	průtok oleje při mazání ložiska L se vzduchem (obecně)	$[m^3 \cdot s^{-1}]$
$Q_{n,vz}$	průtok vzduchu za normálních podmínek	$[m_N^3 \cdot s^{-1}]$
Q_{OLEJ}	celková spotřeba oleje všech ložisek	$[m^3 \cdot s^{-1}]$
Q_{om}	průtok olejové mlhy	$[m^3 \cdot s^{-1}]$
Q_t	průtok vzduchu tryskou (obecně)	$[m^3 \cdot s^{-1}]$
Q_{vz}	objemový průtok vzduchu (obecně)	$[m^3 \cdot s^{-1}]$
$Q_{z,L}$	průtok oleje při mazání ložiska L bez vzduchu (obecně)	$[m^3 \cdot s^{-1}]$
R	počet řad valivých těles	$[1]$
S_o	celkový průřez vstřikovacích otvorů v kroužku (obecně)	$[m^2]$
$S_{o,c}$	celkový průřez všech vstřikovacích otvorů	$[m^2]$
V_d	množství oleje v jedné mazací dávce (obecně)	$[m^3]$
d	vnitřní průměr ložiska	$[m]$
d_m	střední průměr ložiska	$[m]$
d_n	průměr roztečné kružnice vstřikovacích otvorů	$[m]$
d_o	světlost vstřikovacího otvoru	$[m]$
d_p	přibližná světlost trysky (obecně)	$[m]$
d_t	světlost trysky	$[m]$
k	koeficient spotřeby oleje	$[1]$
n	počet otáček vřetene za sekundu	$[s^{-1}]$
n_c	počet mazacích dávek	$[s^{-1}]$
p_{bar}	barometrický tlak	$[Pa]$
p_N	tlak za normálních technických podmínek	$[Pa]$
p_{vz}	tlak stlačeného vzduchu	$[Pa]$
t_N	teplota za norm. technických podmínek	$[^{\circ}C]$

t_{vz}	teplota vstupujícího stlačeného vzduchu	$[^{\circ}C]$
w	koeficient	$[m \cdot s^{-1}]$
α	kontaktní úhel kosoúhlého ložiska	$[^{\circ}]$

ÚVOD

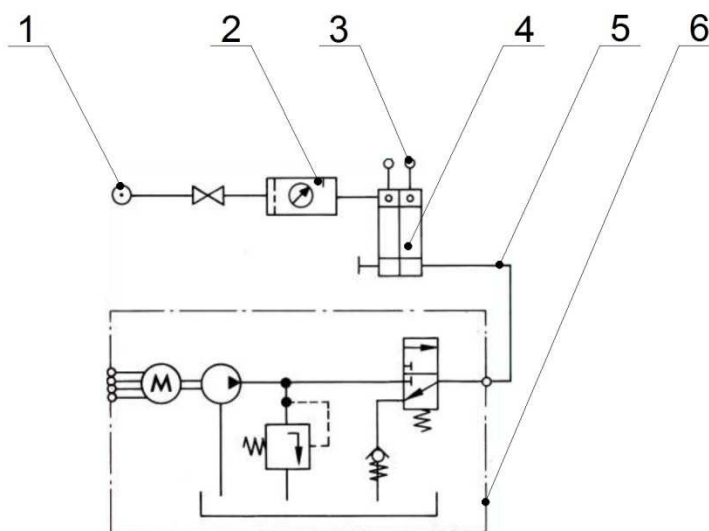
Mazání je důležitá součást naprosté většiny strojů a zařízení. Pro správnou funkci mazání je důležitý výběr vhodného druhu mazacího systému a způsobu mazání. Nesprávný výběr mazacího systému může vést k nesplnění požadovaných parametrů stroje a k jeho rychlému opotřebení.

Pro mazání ložisek vřeten se nejčastěji používá směs oleje se vzduchem – olejová mlha. Rozprášený olej ve formě mlhy snáze vytváří na povrchu kluzných dvojic olejový film a proudící vzduch ložisko chladí. Právě nutnost pracovat ve ztížených podmínkách (vysoké teploty a rychlosti) a tudíž snaha o odvod velkého množství tepla z ložiska vedla k použití mazání směsí oleje se vzduchem. V poslední době však rostou nároky na ekologičnost mazacího systému. Olejová mlha je pro obsluhu zařízení toxická (jedná se o aerosol) a pro zjištění jejího případného úniku do okolního prostředí jsou potřeba drahá měřicí zařízení. Proto se v poslední době stále více uplatňuje tzv. kapénkové mazání. Jedná se sice o směs oleje se vzduchem, avšak kapičky oleje mají větší velikost než u olejové mlhy. Jsou proto těžší a tlakový vzduch slouží pouze k jejich dopravě do ložiska. Cílem této práce je vybrat a navrhnout vhodný typ mazacího systému směsí oleje se vzduchem pro mazání vřeteníku brusky.

1 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

1.1 Princip a funkce mazání směsí oleje se vzduchem

Směšovací systém se používá výhradně pro mazání uzavřených mazaných míst (především valivých nebo kluzných ložisek). Tento systém zajišťuje nepřetržité dodávání maziva do mazacích míst proudem tlakového vzduchu. Ke směšování mazací látky s tlakovým vzduchem dochází ve speciálních směšovacích ventilech, ze kterých je směs přiváděna potrubím do mazacích míst. Na konci potrubí může být umístěna tryska, jejíž provedení a regulovatelné množství vzduchu určuje charakter směsi. Tlakový vzduch mazaná místa chladí a vytváří v nich přetlak, díky čemuž je chrání před vniknutím nečistot. Základní schéma směšovacího systému je na obr. 1.1.



Obr. 1.1 Základní schéma směšovacího systému oleje se vzduchem (Špondr CMS)
 1 - přívod tlakového vzduchu, 2 - zařízení pro úpravu stlačeného vzduchu, 3 - mazací místa s mazacími tryskami, 4 - dávkovače nebo směšovače, 5 - přívod mazacího oleje, 6 - mazací agregát s odlehčovacím, pojistným a jednosměrným ventilem

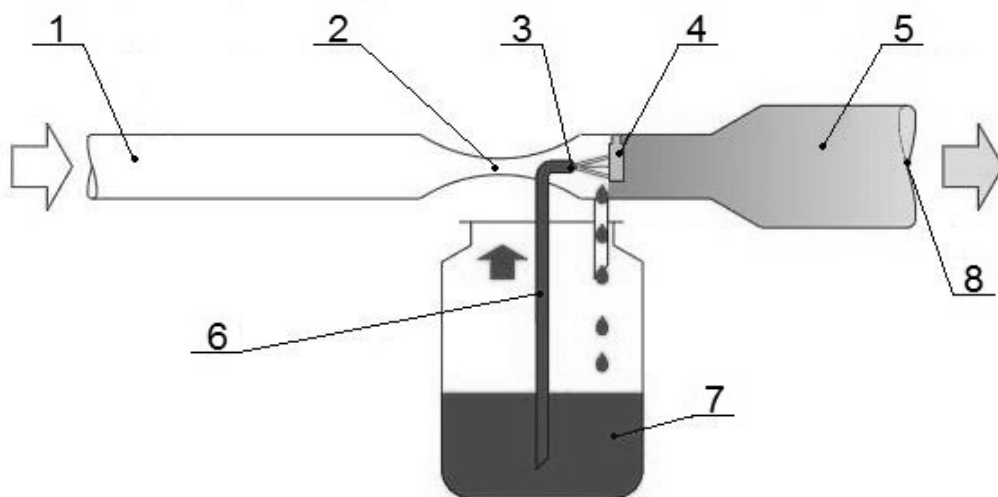
1.2 Mazání olejovou mlhou

Výroba olejové mlhy

Mazací systémy s olejovou mlhou jsou použity pro mazání jak uzavřených mazaných míst, např. valivá a kluzná ložiska, tak i otevřených míst, např. řetězy, kluzná vedení, ozubené převody. Více viz lit. [1].

Na obr. 1.2 je zobrazeno schéma zařízení pro výrobu olejové mlhy s odfiltrováním předčasně kondenzovaných kapének.

Stlačený vzduch, vyčištěný vzduchovým filtrem, proudí skrz Venturiho trubici, kde dochází ke zvýšení rychlosti proudu vzduchu a vzniku podtlaku, načež je skrz sací trubici (6) nasáván olej z olejového zásobníku (7). Poté dojde k rozprášení nasátého oleje v proudu vzduchu a vzniku olejové mlhy. Větší kapičky unášeného oleje narazí na postřikovou destičku (4) a vrací se zpět do olejového zásobníku. Čistá olejová mlha poté odchází potrubím (5) k mazacím místům.



Obr. 1.2 Princip a schéma zařízení pro výrobu olejové mlhy (FAG)

1 – přívod tlakového vzduchu, 2 - Venturiho trubice, 3 – vstřikovací tryska oleje, 4 – filtrovací destička, 5 – výstupní potrubí, 6 – sací potrubí, 7 – zásobník oleje, 8 – výstup olejové mlhy

Použití olejové mlhy

Systémy mazání olejovou mlhou se stávají čím dál více populárnějšími v různých aplikacích, kde je vyžadován omezený přísun oleje. Příklady použití zahrnují ložiska elektromotorů, čerpadel a kompresorů v mnoha olejových rafinériích a petrochemických závodech; převody, vačky, řetězy a kluzné povrchy strojů v ocelárnách a papírnách; konstrukční vybavení a rostoucí rozsah jiných průmyslových aplikací. Kompaktní jednotky pro tvorbu olejové mlhy jsou také dostupné pro použití u elektromotorů, včetně obráběcích strojů a podobných aplikací.

Systémy olejové mlhy prezentují atraktivní alternativu k mazání tuky při malých až středních rychlostech a k oběhovým mazacím systémům pro vysoké rychlosti a vysoké teploty. Řádně navržené a umístěné systémy s olejovou mlhou nabízejí následující výhody:

- u oběhových systémů bez nutnosti výměny oleje a snížené požadavky na údržbu,
- snížená spotřeba oleje (až 70 % v porovnání s klasickým mazáním),
- menší tření a snížené zahřívání ložisek,
- vytvoření přetlaku v zařízení a zamezení vniku znečištění,
- nižší opotřebení a delší životnost strojních částí,
- nízké vstupní náklady.

Vztah pro určení potřebného průtoku olejové mlhy pro nenáročné podmínky podle lit. [2]:

$$Q_{om} = 4,642 \cdot 10^{-4} \cdot d \cdot R \quad (1.1)$$

kde: d je vnitřní průměr ložiska (otvoru) [m],

R - počet valivých řad ložiska,

konstanta $4,642 \cdot 10^{-4}$ vznikla převodem jednotek z Anglické soustavy měr na soustavu SI.

Příklad výpočtu: $d = 120 \text{ mm}$, $R = 2$, pak potřebný průtok olejové mlhy bude

$$Q_{om} = 1,114 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cong 6,68 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$$

Vypočtený průtok může být z důvodů těžkých provozních podmínek zdvojnásoben (oscilační zatížení, vysoké teploty).

Zásady použití olejové mlhy

Zatímco systémy olejové mlhy velmi snížily údržbu a problémy s vlastním provozem mazaného zařízení, vzniklé hodnoty průtoků v systému se ukázaly být problémové a proto byla podle lit. [2] stanovena následující pravidla:

- Proud vzduchu v přírodním vedení musí být laminární, při maximální rychlosti zhruba $7,3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, jelikož vzduchové turbulence způsobují narážení kapiček oleje na stěny trubky a tím pádem i oddělení od proudu vzduchu před dosažením mazaného místa. Na druhou stranu při velmi malých rychlostech se můžou kapičky navzájem srážet předčasně.
- Výkonnost mazání je silně závislá na teplotě směsi. S ohledem na výraznou změnu viskozity oleje při velkých tepelných výkyvech (cca o 20°C) je třeba použít ohřívač vzduchu ke stabilizaci. Je-li použit ohřívač vzduchu, může být podpořen ohřívačem oleje.
- Únik olejové mlhy znamená ohrožení přírodního prostředí. Na mazaných místech jsou potřebné větrací otvory pro odsátí nevyužité mlhy. Je dáno, že během osmihodinové doby nesmí být osoba vystavena více než pěti miligramů oleje na metr krychlový vzduchu.

Působení na člověka

Vystavení se minerální olejové mlze může způsobit podrážděnost očí, kůže a horního dýchacího traktu, jakož i centrálního nervového systému. Dále můžou nastat bolesti hlavy, závratě a ospalost. Minerální oleje jsou pro člověka karcinogenní. Vdechnutí minerální olejové mlhy může mít za následek zmodrání kůže, zrychlený srdeční tep, horečku, a chemický zápal plic následovaný druhotnou infekcí.

Úprava vzduchu

Při mazání olejovou mlhou je velmi důležitá úprava stlačeného vzduchu. Standardně jsou mazací systémy vybaveny jednotkou pro úpravu stlačeného vzduchu, ve které se

vzduch vyčistí přes filtr a odloučí se z něj vlhkost. Poté je zde vsazen redukční ventil k nastavení potřebného tlaku vzduchu.

Pro mazání olejovou mlhou se používá tlak vzduchu 0,69 MPa (www.alemite.com), 0,4 – 0,8 MPa (www.tribotec.cz), 0,5 – 0,8 MPa (www.dropsa.com), max. 0,69 MPa (www.hennlich.cz), 0,15 až 0,35 MPa (www.skf.com – Willy Vogel).

1.3 Kapénkové mazání

V určitých oblastech využití se v poslední době mazání olejovou mlhou nahrazuje mazáním kapénkovým. Bývá to často zdůvodňováno nepříznivým působením olejové mlhy na životní prostředí.

Existují dva způsoby, jak vytvořit olejové kapénky:

- použitím olejové mlhy a kondenzačních nebo sprejových trysek,
- smícháním oleje a proudu vzduchu až v trysce.

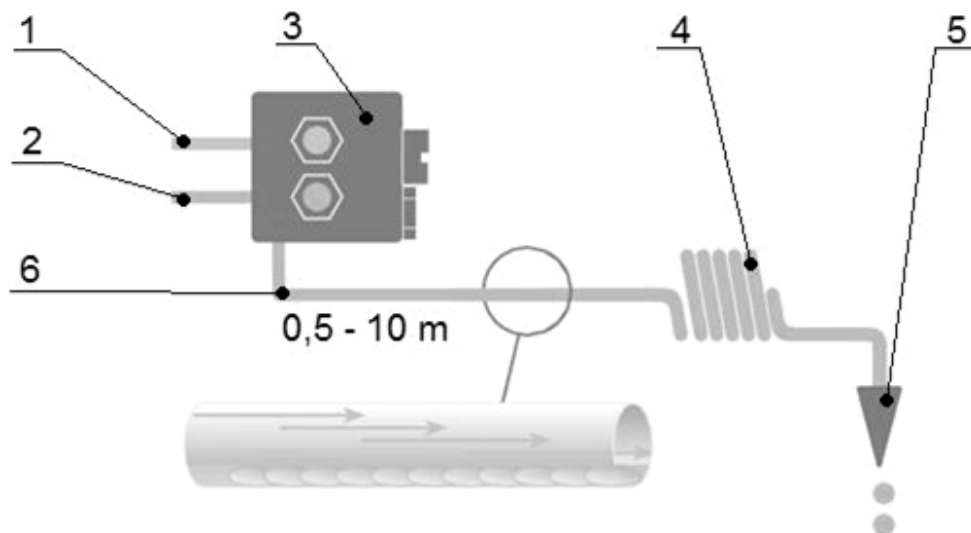
Vytvoření směsi oleje se vzduchem přímo v trysce

Mazání olej + vzduch je založeno na minimálním dávkování. Kapka oleje je stržena proudem vzduchu ve směšovací komoře. Mazivo je proudícím vzduchem posouváno úzkou trubicí směrem k mazací trysce (viz obr. 1.3 na následující straně). Tryska je kuželovitá a ke konci se zužuje. Na konci trysky dochází k oddělení kapiček oleje od trysky a proud vzduchu tyto kapičky unáší. Ložisko je nepřetržitě zásobováno jemnými kapkami oleje z výstupní trysky. Nosný vzduch poté opouští ložisko téměř bez oleje.

Hlavní použití nalezneme v oboru strojírenství, kde jsou kladeny vysoké požadavky na přesné mazání: záruka vysoké efektivity s nízkým opotřebením a dlouhou životností, speciálně v případech včetně strojů.

Menší množství maziva

Používá se co nejmenší množství maziva, výsledkem je větší bezpečnost a hygiena prostředí. Podle potřeby se používají přesná odměřená množství, díky čemuž je zde asi o 90 % menší spotřeba oleje v porovnání s mazáním olejovou mlhou. Kvůli absenci olejové mlhy zde téměř neexistuje riziko poškození zdraví inhalací par.



Obr. 1.3 Princip kapénkového mazání (SKF)

1 – vstup tlakového vzduchu, 2 – vstup tlakového oleje, 3 – směšovací ventil, 4 – spirálně stočené vedení, 5 – tryska, 6 – výstupní vedení se směsí oleje a vzduchu

Výhody a aplikace kapénkového mazání

Firma Bijur Delimon uvádí tyto výhody a aplikace:

- tento způsob mazání je z hlediska ochrany přírodního prostředí vhodnější, než použití olejové mlhy,
- vzhledem k tomu, že není použito olejové mlhy, nedochází ke znečištění okolního prostředí aerosolem,
- k mazacím místům je dodáván čistý olej ve formě jemných kapiček,
- systém může také dodávat maziva o vysoké viskozitě,
- jednoduché monitorování systému,
- systém je vhodný speciálně pro mazání valivých ložisek,

- použití kapénkového mazání může prodloužit životnost ložisek,
- vytváří ideální mazací film mezi pohybujícími se povrchy,
- možnost použití při mazání tuhými mazivy,
- při vzníkání nepřipustného tepla, jež není možné odvést oběhovým mazáním,
- pokud potřebujeme zajistit, aby do ložisek nevnikaly nečistoty (prach, voda),
- pokud je mazací bod nedostupný a olej se k němu dostane pouze ve formě spreje,
- pro vysokootáčková ložiska (parametr DN mezi 250 000 a 350 000 mm · min⁻¹).

Podle firmy SKF je parametr DN definován vztahem:

$$DN = d_m \cdot n \quad (1.2)$$

kde: d_m je střední průměr ložiska (průměr pomyslné kružnice středů valivých těles) [m],
 n - otáčky vřetene [s⁻¹].

Parametr DN se poté převede na jednotky mm · min⁻¹, s nimiž se dále pracuje.

Mazací dávka

Množství maziva velmi záleží na druhu ložiska, počtu řad valivých těles, šířce ložiska atd. Je proto vhodné návrh potřebného množství maziva v dávce zkontrolovat s dodavatelem zařízení. Literatura firmy SKF uvádí vztah pro výpočet přibližného potřebného množství maziva pro jednořadé ložisko:

$$Q = w \cdot d \cdot B \quad (1.3)$$

kde: w je konstanta, má hodnotu $2,78 \cdot 10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,

d - průměr otvoru ložiska [m],

B - šířka ložiska [m].

Příklad výpočtu: $d = 0,120 \text{ m}$, $B = 0,046 \text{ m}$, pak potřebný průtok oleje:

$$Q = 2,78 \cdot 10^{-6} \cdot 0,12 \cdot 0,046 = 1,53 \cdot 10^{-9} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cong 55,2 \text{ mm}^3 \cdot \text{h}^{-1} \quad (1.4)$$

V praxi se hodnoty vypočítané touto rovnicí násobí čtyři- až dvacetkrát podle podmínek, za jakých ložisko pracuje. Proto se musí průtok oleje určit pro každý případ individuálně. Prakticky se zjistilo, že pro mazání ložisek vřeten jsou vhodné průtoky od $3,33 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \triangleq 120 \text{ mm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ do $5 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \triangleq 180 \text{ mm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Toto množství maziva se rozdělí do šesti až deseti mazacích cyklů za hodinu.

Nevýhodou tohoto vztahu je, že výpočet nezahrnuje otáčky ložiska.

Úprava vzduchu

Stejně jako při mazání olejovou mlhou je velmi důležitá úprava stlačeného vzduchu. Stlačený vzduch je přiveden z vnějšího zdroje a je upraven v jednotce pro úpravu stlačeného vzduchu, jenž je součástí mazacího přístroje.

Vzduch by měl být suchý a přefiltrovaný, v mazacím přístroji se navíc často použije filtr vzduchu s filtrační schopností menší než $5 \text{ }\mu\text{m}$. Tlak vzduchu by měl být nastaven s přihlédnutím na tlakové ztráty ve vedeních. Maximální tlak vzduchu na vstupu do směšovací jednotky by neměl přesáhnout 6 bar.

Pro kapénkové mazání se používá tlak 0,4 MPa až 0,6 MPa (www.mql.it), 0,3 – 1 MPa (www.skf.com), 0,28 – 0,69 MPa (gww.graco.com). Z uvedených hodnot tlaků vyplývá, že jsou podobné jako u mazání olejovou mlhou, a nelze přesně uvést daný tlak pro mazání olejovou mlhou a tlak pro kapénkové mazání. Vždy je třeba kontaktovat výrobce mazacího systému pro zjištění přesných hodnot.

1.4 Mazací oleje

Pro mazání valivých ložisek se většinou používají čisté minerální oleje bez přísad.

Syntetické oleje jsou v zásadě určeny pouze pro vysoce náročné způsoby použití, jako např. pro velmi vysoké nebo velmi nízké provozní teploty. Termín syntetické oleje

označuje oleje s nejrůznějšími základními složkami. Z nich jsou nejdůležitější polyalfaolefiny (PAO), estery a polyalkylenglykoly (PAG).

Biologicky rychle odbouratelná maziva

Již několik let nabízejí výrobci mnoho mazacích tuků a olejů pro mazání valivých ložisek, přičemž některé z nich obsahují jako základ rostlinný olej (obvykle řepkový olej); avšak v největší míře se používá jako základ syntetický olej (esterové oleje). Jejich biologická odbouratelnost je testována v souladu s CEC-L33-A93 a na základě DIN 51828. Obvykle patří do třídy s nízkým znečištěním vody a často musí být zdraví neškodné. Další informace v literatuře firmy FAG.

Vlastnosti a použití biologicky rozložitelných olejů

Podle lit. [3] lze biologicky rozložitelné oleje rozdělit na:

a) Rostlinné oleje

Tyto produkty jsou ideální pro použití u zubů pil nebo mazání řetězového pohonu, kde je mazivo použito jen jednou a je zde vyžadována malá toxicita. Tyto oleje se také velmi hodí pro použití nízkotlakých až středotlakých hydraulických systémech, lehce zatížených převodech, kde pracovní teplota nepřesáhne 60 °C a kde je malá šance kontaminace vodou nebo velkým znečištěním. V případech, kde hrozí možnost znečištění okolním prostředím, musí být častěji kontrolovány filtry v důsledku malé filtrovatelnosti těchto kapalin. Převodovky a hydraulické systémy by měly být důkladně vyčištěny pro odstranění úlomků, usazenin a kalů, aby nedošlo k případné negativní reakci s olejem. Tato reakce může také nastat při kontaktu s některými těsnicími materiály, jako např. neopren a nitril.

b) Polyalfaolefiny (PAO)

Biologicky odbouratelné PAO jsou stále více používány jako hydraulické a motorové oleje, zvláště při použití v chladném podnebí a při vysokých tlacích. Používají se také jako převodové oleje vzhledem k jejich schopnosti pracovat při nízkých teplotách a pro jejich nízký součinitel tření. Tyto oleje jsou obecně kompatibilní s minerálními oleji, a proto není nutný výplach před použitím PAO. PAO mají také negativní vliv na určité těsnicí materiály - způsobují smršťování, proto již počáteční únik oleje může znamenat problém.

c) Diestery

Tyto kapaliny jsou výborná maziva pro použití u kompresorů a turbín. Mají dobré antioxidační vlastnosti a nezpůsobují smršťování těsnění. Vzhledem ke své výborné rozpouštěcí schopnosti mohou mít negativní efekt na lakované nebo barvené povrchy, proto se doporučuje odstranit všechnu barvu z vnitřních povrchů, jež přichází s kapalinou do kontaktu, např. nádrž.

d) Polyalkylenglykoly (PAG)

Existují dvě základní složky PAG: polyetylenová a oxid polypropylenu. Polyetylenové PAG mají vysokou rozpustnost ve vodě, špatnou mísící schopnost s minerálními oleji a jsou silně polarizované. Proto je důležité před použitím PAG důkladné propláchnutí systému od minerálního oleje. Vysoká rozpustnost ve vodě zvyšuje biologickou odbouratelnost, ale na druhou stranu přináší nevýhodu v mazacích aplikacích, kde může docházet ke vstřebávání vody z prostředí, což může způsobovat vznik mlhy, kalů a koroze. Ideální použití je např. jako nehořlavá maziva. Polypropylenové PAG jsou naopak ve vodě nerozpustné.

Srovnání minerálních a biologicky odbouratelných olejů

V dnešní době se stále více dává důraz na ekologii, na použití ekologických maziv. Nevýhodou těchto maziv je ale až pětikrát vyšší cena v porovnání s minerálními oleji. Proto se zatím uplatňují hlavně u mobilních a stacionárních strojů v zemědělství a lesnictví, kde hrozí velké riziko znečištění okolního prostředí. Dále je zde problém ve skladovatelnosti bio maziv – každý výrobce uvádí své skladovací podmínky, a ty je třeba dodržet, jinak může dojít k jejich rychlé degradaci. Nevýhodou rostlinných olejů (např. řepkový olej) je nízká životnost a vysoká cena. Také esterové oleje mají lepší mazací vlastnosti, než minerální oleje, ale jsou dražší. Z celkového pohledu mají biologicky odbouratelné syntetické a rostlinné oleje lepší mazací vlastnosti než čisté minerální oleje, proto se do minerálních olejů přidávají aditiva.

Oleje s vysokotlakými přísadami (EP), přísadami proti oděru (AW) a jinými aditivami pro zlepšení některých mazacích vlastností jsou používány pouze ve zvláštních případech, jež jsou uvedeny níže.

Únosnost mazivového filmu, vysokotlaká a protioděrová aditiva

Trvanlivost ložiska je negativně ovlivněna nedostatečnou tloušťkou mazivového filmu, který nezabrání styku kov na kov mezi vrcholky nerovností stykových ploch. Jednou z možností, jak odstranit tento nepříznivý stav představují přísady EP (Extreme Pressure = velmi vysoký tlak). Vysoké teploty vyvolané místním stykem vrcholků nerovností tato aditiva aktivují a dojde k mírnému opotřebení v místech styku. Výsledkem je hladší povrch, nižší napětí v místě styku a prodloužení provozní trvanlivosti.

Mnoho moderních přísad EP obsahuje síru nebo fosfor. Tato aditiva mohou ale negativně ovlivňovat pevnost struktury ložiskové ocele. Při použití takových aditiv se chemická aktivita nemusí omezit pouze na místo styku vrcholků nerovností. Jestliže provozní teplota a napětí jsou v místech styku příliš vysoké, aditiva mohou chemicky reagovat s povrchem ložiska, i když nedochází ke styku vrcholků nerovností. Tento jev může podporovat vznik koroze / difúzního mechanismu v místě styku a může urychlit havárii ložiska, která je zpravidla vyvolána mikropittingem (vytrhávání částic z povrchu materiálu ložiska). Z toho důvodu firma SKF doporučuje používat pro provozní teploty vyšší než 80 °C méně reaktivní EP přísady. Maziva s EP přísadami by neměla být používána pro mazání ložisek při teplotách vyšších než 100 °C. Pro nízké otáčky jsou určena maziva, která v některých případech obsahují jako aditiva pevné látky, např. grafit a siřník molybdenu (MoS_2), jenž podporují vznik efektu EP.

Přísady AW (Anti - Wear = proti oděru) jsou z hlediska funkce srovnatelné s přísadami EP (mají zabránit přímému styku kov na kov). Z toho důvodu se přísady EP a AW většinou nerozlišují. Oba typy přísad se však liší způsobem činnosti. Hlavní rozdíl spočívá v tom, že přísady AW vytvářejí ochrannou vrstvu, která přilne k povrchu. Vrcholky nerovností mezi sebou spíše kloužou, než aby docházelo k jejich kontaktu. Nedochází tedy k vyhlazení povrchu mírným opotřebením jako je tomu při použití přísad EP. Zde také je však třeba postupovat velmi obezřetně, protože aditiva AW mohou obsahovat stejné prvky jako aditiva EP, které pronikají do ložiskové oceli a zeslabují její strukturu.

V případě dostatečné tloušťky mazivového filmu se zpravidla nedoporučuje používat přísady EP a AW. V některých případech však mohou být přísady EP/AW velmi užitečné (v případě, že dojde k nadměrnému prokluzování valivých těles).

Oleje k mazání olejovou mlhou

Výběr oleje je založen na splnění mazacích požadavků nejnáročnější části stroje. Zatímco použitá viskozita oleje podle ISO dosahuje 1000 i více, mnoho systémů mlhy požaduje minerální převodový olej ve viskózní třídě ISO VG 68 až VG 460 (kinematická viskozita $68 \text{ až } 460 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ při $40 \text{ }^\circ\text{C}$).

Minulým problémům s voskem a s vylučováním přísad z olejové mlhy se dnes předchází použitím naftenových sloučenin a naopak se již nepoužívají olejová aditiva, jenž se mohou uvolnit při kontaminaci vodou.

Oleje pro olejovou mlhu obsahují podle [2] také speciální aditiva ke zlepšení rozprašování, aditiva podporující kondenzaci na rotujících součástech a aditiva ke snížení možnosti zamlžení a úniku do okolního prostředí. Tato složení olejové mlhy typicky poskytují o 20 až 30 % více využitelného množství dodaného oleje, než normální minerální oleje. Nemohou být rovněž použity automobilové motorové oleje kvůli jejich nestálé schopnosti rozprašování.

Oleje ke kapénkovému mazání

Na rozdíl od mazání olejovou mlhou zde není potřeba použít přísady pro dobré rozprašování. Používají se oleje s kinematickou viskozitou $20 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ až $150 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ (při $40 \text{ }^\circ\text{C}$) minerální nebo na bázi syntetika. Přesné vlastnosti potřebného oleje je třeba si zjistit u výrobce příslušného mazacího systému. Např. u velmi zatížených ložisek se do mazacího oleje přidávají aditiva EP (pro extrémní tlaky – viz mazací systém OLA firmy SKF).

Pro přesné údaje o typu a množství potřebného oleje (a případně i aditiv) k mazání směsi oleje a vzduchu je třeba kontaktovat výrobce, popř. dodavatele daného mazacího zařízení.

Příklady strojních olejů pro mazání ložisek vřeten:

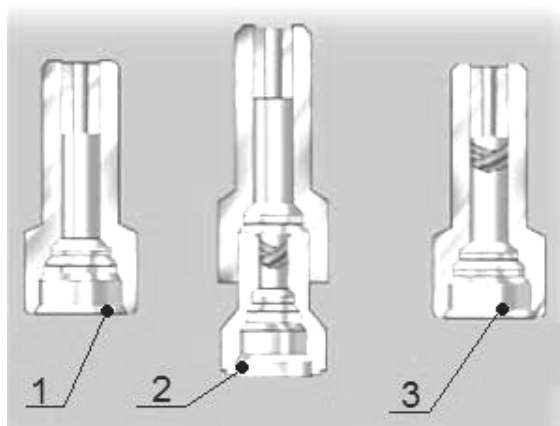
<i>Olej</i>	<i>vlastnosti</i>
Mobil Vactra No. 2	viskózní třída ISO VG 68, přísady proti oxidaci, vysoká únosnost olejového filmu.
Mobil Mist Lube 27	viskózní třída ISO VG 100, Speciální oleje s vysokou přilnavostí schopné odolávat extrémním tlakům. Jsou určeny pro mazání kluzných a valivých ložisek, ozubených převodů, kluzných vedení olejovou mlhou a podobně.
Mobil VELOCITE No. 4	výborná odolnost proti oxidaci, vzniku pěny, ochrana proti rezivění systému, použití při mazání přesných ložisek s malou tolerancí.
WearMaster KF 240	obsahuje inhibitory koroze, použití do 121 °C.
Shell NATURELLE HF-E 68	Syntetická, biologicky odbouratelná kapalina bez negativního vlivu na životní prostředí (CEC L-33-A-93, 90%). Stupeň ohrožení vod WGK 0. Kapalínu lze použít jako alternativu k ropným hydraulickým olejům HLP podle DIN 51524, díl 2 a hydraulickým olejům HVLP podle DIN 51524, díl 3. Oleje mají rozšířený rozsah požití v teplotním rozmezí od -30 °C do +100 °C. Pro konkrétní nasazení platí mezní teploty a viskozita doporučené výrobcem zařízení.
Total Carter EP	Uzavřené převodovky bez rozdílu podmínek zatížení, ložiska a značně zatěžované spojky, mazání rozstříkem a mlhou v případech, že je požadován olej pro „extrémní tlaky“ - EP, polosyntetické stupně 1500 a 3000 se doporučují pro mazání vypalovacích pecí, mlýnů drtičů, atd.

EnviroLube ALH-68

Syntetický, biologicky odbouratelný olej s výbornou oxidační stabilitou, mazací schopností a antikorozními vlastnostmi, použití u oběhových systémů a systémů se směsí olej/vzduch. Třída ISO 68, bod vzplanutí 271°C.

1.5 Mazací trysky

Na obr. 1.4 jsou zobrazeny tři druhy mazacích trysek pro různé druhy ložisek, uložení a části strojů.



Obr. 1.4 Druhy mazacích trysek (lit. [2])

1 - tryska pro vytváření mlhy, 2 - sprejová tryska, 3 - kondenzační tryska

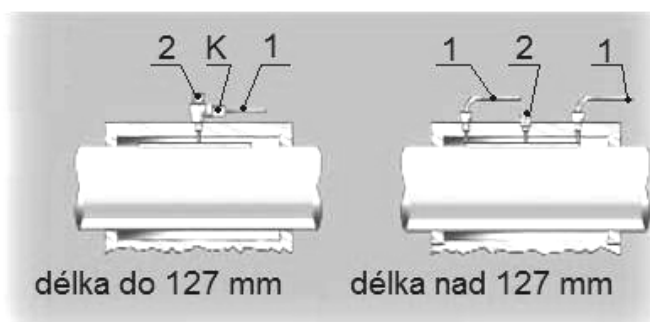
Tryska č. 1 se v praxi moc nepoužívá, protože pouze rozprašuje dodávanou olejovou mlhu. Tu tvoří velmi jemné kapičky oleje (tzv. suchá mlha), které mají tendenci se ve volném prostoru vznášet a nevysrážená mlha uniká z ložiska do prostředí. Navíc suchá mlha má horší mazací schopnosti, než mlha mokrá (mlha vzniklá částečným vysrážením kapiček oleje).

Trysky pro mazání olejovou mlhou

Skládají se z jednoduchého odměřovacího hrdla pro dodávání jemné mlhy s minimální kondenzací. Protože se poté jemná mlha setkává s rotujícími součástmi, jako jsou kuličky v kuličkových ložiscích, převody, řetězy nebo kladky, dochází ke shlukování jemných částic oleje kvůli turbulenci a tyto větší kapičky vytvářejí na povrchu mazací film. Olejová mlha je vstřikována do ložiskového domku na jedné straně řady kuliček nebo válečků a tlakový vzduch odchází druhou stranou.

Trysky pro kapénkové mazání

Patří mezi ně sprejové a kondenzační trysky a používají se pro kluzné třecí části. Hlavní rozdíl mezi těmito dvěma typy je doba, po kterou jsou částice mlhy udržovány při vysoké rychlosti v turbulentním proudění k podpoření jejich shlukování ve větší částice (vzniká tzv. mokrá mlha). Aby došlo k mazání kluzných povrchů, ložisek čepů a podobných částí, výsledná směs dopadá na povrch součásti a vzniklý olejový film po něm stéká a maže stykové plochy. Příklady použití takových trysek jsou na obr. 1.5.



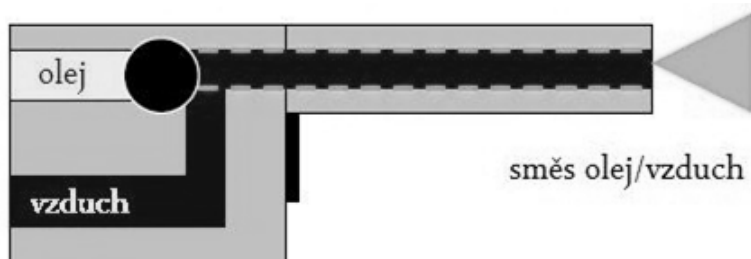
Obr. 1.5 Příklady použití sprejových a kondenzačních trysek (lit. [2])

1 - vstup olejové mlhy, 2 – výfuk vzduchu, K – kondenzační, sprejová tryška

Smíchání oleje a vzduchu v trysce

Trysky použité u kapénkového mazání, u kterého je olej tlačěn po vnitřním povrchu mazacího potrubí pomocí proudícího vzduchu, jsou na svém konci zúžené, což má za následek shlukování olejového filmu v kapénky.

Dále existují trysky s více vstupy (dvoumédiové), zobrazené na obr. 1.6 a 1.7. Tyto trysky mají dva vstupy – jeden pro tlakový vzduch a druhý pro olej.



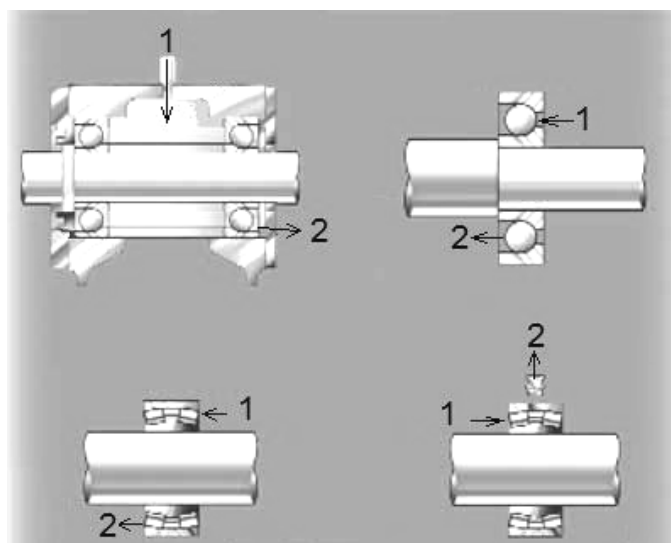
Obr. 1.6 Sprejová tryska s trvalou dodávkou směsi



Obr. 1.7 Sprejová tryska s pulzní dodávkou směsi (Lincoln)

Průměr výstupního otvoru v trysce závisí na výrobci, např. fa Graco používá u svého mazacího systému Spindl - Gard trysky s otvory od 0,76 mm do 1,52 mm, s tím souvisí při určitém tlaku i maximální průtok vzduchu. Firma SKF používá u svého mazacího systému OLA trysky s otvory 0,5 až 1 mm. Průměr otvoru závisí na potřebném průtoku vzduchu.

Obr. 1.8 na následující straně zobrazuje možné příklady vstřikování směsi oleje a vzduchu do ložisek podle jejich druhu a uložení.



Obr. 1.8 Příklady vstřikování směsi oleje a vzduchu do ložisek (lit. [2])

1 - vstup olejové mlhy, 2 - výstup proudu vzduchu

2 VOLBA TYPU MAZACÍHO SYSTÉMU

Při použití olejové mlhy bych se rozhodl pro systém olej/vzduch firmy TriboTec. Sestává se z mazacího přístroje UCF pro dodávku maziva, směšovacího ventilu OVS 1, progresivního rozdělovače, filtru oleje, tlakového spínače, uzavíracích kohoutů a jednotky pro úpravu stlačeného vzduchu. Standardně je systém vybaven deseti mazacími výstupy, lze jej ale individuálně měnit. Výhodou tohoto mazacího systému je, že v případě nepřetržité dodávky olejové mlhy je mazané místo mazáno nepřetržitě a chlazeno nejen proudícím vzduchem, ale i olejem. Nevýhodou je samotný fakt, že olejová mlha je vytvářena v mazacím přístroji a následně dopravována k mazanému místu potrubím a hadicemi. Při poškození tohoto vedení může snadno unikat do ovzduší a být nebezpečná nejen pro obsluhu zařízení.

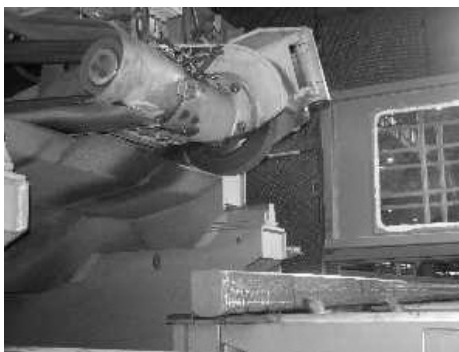
V dnešní době stále více narůstá snaha „být ekologický“ a co nejméně zatěžovat životní prostředí a zdraví pracovníků. V tomto směru je použití kapénkového mazacího systému jednoznačně lepší (při použití olejové mlhy a biologicky odbouratelného oleje stále uniká do ovzduší aerosol, jenž se ve vzduchu vznáší a usazuje se v plicích). Dalším

důvodem pro změnu mazacího systému je i to, že tato bruska již byla mazána olejovou mlhou a narůstá zájem o méně škodlivé metody mazání. Proto jsem se rozhodl pro systém kapénkového mazání. Tento systém standardně nabízí firma SKF pod názvem OLA, jehož dodavatelem je mimo jiné i firma KOMA - Servis, s.r.o. Systém se skládá z kompaktní jednotky čerpadla a nádrže s olejem, jednotky pro úpravu stlačeného vzduchu, filtru oleje, tlakového spínače vzduchu a směšovacích ventilů. Jelikož k vlastnímu směšování olejového filmu a vzduchu dochází až v trysce, nehrozí v případě poškození přívodní hadice znečištění okolního prostředí olejovým aerosolem. Navíc lze použít průhledné hadice a případné poruchy směšovacího ventilu opticky odhalit.

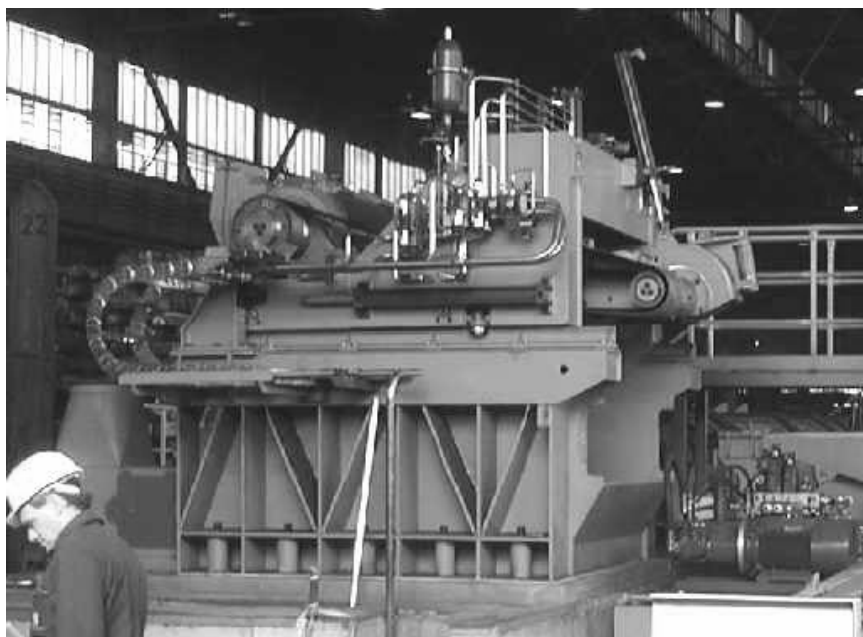
3 VÝPOČET MAZACÍ DÁVKY

3.1 Popis mazaného zařízení

Jedná se o kotoučovou brusku BBS 09 sloužící k broušení ocelových sochorů o rozměrech 150 mm x 150 mm x 12 mm o teplotě okolního prostředí. Přítlak brusného kotouče je vyvozen hydraulickým válcem. Brusný kotouč je umístěn na konci hřídele procházející vřeteníkem (příloha A). Detail vřeteníku je na obr. 2.1. Tato hřídel je umístěna ve dvou dvouřadých válečkových ložiscích a v páru kosoúhlých kuličkových ložisek. Otáčky vřetene jsou $n = 2000 \text{ min}^{-1} \cong 33,33 \text{ s}^{-1}$, zadaná kinematická viskozita mazacího oleje $\nu = 68 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cong 6,8 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, maximální teplota ložisek 100 °C. Bruska byla mazána olejovou mlhou. Celkový pohled na brusku je na obr. 2.2 na následující straně.



Obr. 2.1 Detail vřeteníku se sochořem (Strojírny Třinec)



Obr. 2.2 Bruska sochorů BBS 09

V tabulce 2.1 jsou uvedeny parametry ložisek, v nichž je uloženo vřeteno.

Označení ložiska	d [m]	D [m]	B [m]	d_m [m]	Popis	Označení v textu	d_n [m]
7024 CD	0,120	0,180	0,028	0,150	Kosouhlé jednořadé kuličkové	L1	0,1435
NN 3024 K	0,120	0,180	0,046	0,150	Dvouřadé válečkové	L2	0,1629
NN 3026 K	0,130	0,200	0,052	0,165		L3	0,1796

Tab. 2.1 Parametry použitých ložisek

kde: d je průměr otvoru ložiska,

D - vnější průměr ložiska,

B - šířka ložiska,

d_m - střední průměr ložiska,

d_n - průměr roztečné kružnice vstřikovacích otvorů podle firmy SKF.

Pro určení potřebné mazací dávky zpravidla neexistuje žádný vzorec, jenž by přesně vystihl dané a požadované podmínky při mazání. Budu proto předpokládat, že při mazání ložisek nebude vzduch použit. Výsledné hodnoty průtoků oleje zmenším tak, jako by byl olej použit pouze k mazání a vzduch ke chlazení. Při výpočtu budu vycházet z ložiskového parametru DN. Otáčky vřetene jsou $n = 2000 \text{ min}^{-1} = 33,33 \text{ s}^{-1}$.

Výpočet parametru DN pro ložiska 7024 CD a NN 3024 K (dále L1, L2)

Ložiska L1 a L2 mají stejný vnitřní průměr d i vnější průměr D a tím i střední průměr d_m . Dosazení hodnoty d_m z tab. 2.1 do (1.2):

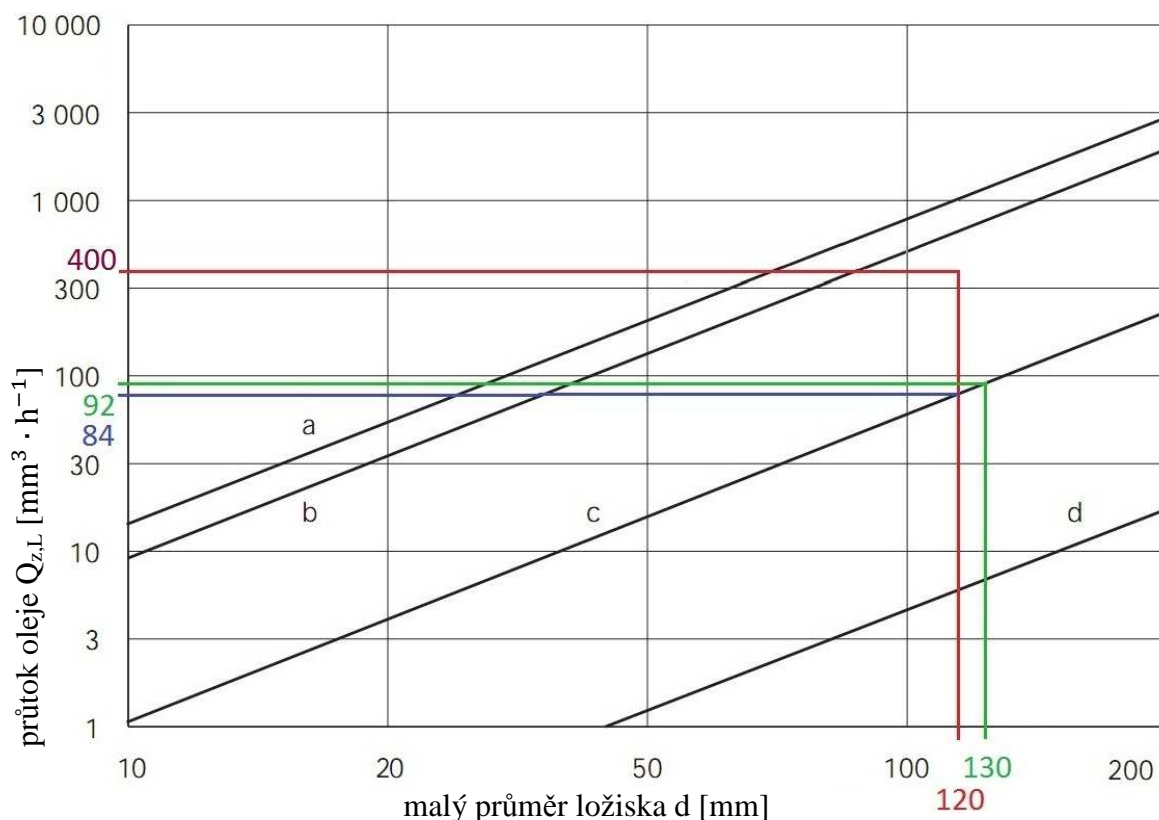
$$DN_{L1,2} = 0,150 \cdot 33,33 = 4,9995 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \triangleq 299970 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$$

Výpočet parametru DN pro ložisko NN 3026 K (dále L3)

Dosazení hodnoty d_m z tab. 2.1 do (1.2):

$$DN_{L3} = 0,165 \cdot 33,33 = 5,49945 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \triangleq 329967 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$$

Dále určím průtok oleje Q_z , jako by se jednalo o ztrátové mazání pouze olejem. Tento průtok určím z grafu pro ztrátové mazání na obr. 2.3 na následující straně.



Obr. 2.3 Graf závislosti průtoku oleje na průměru otvoru ložiska d (FAG)
kde: červená barva odpovídá ložisku L1, modrá L2 a zelená L3.

Význam zón v grafu na obr. 2.3

- Zóna a – b: Kosoúhlá kuličková radiální ložiska s kontaktním úhlem $\alpha = 40^\circ$.
Kosoúhlá kuličková axiální ložiska s kontaktním úhlem $\alpha = 60^\circ$ až 75° .
Axiální kuličková ložiska s kontaktním úhlem $\alpha = 90^\circ$,
součinitel $DN \leq 800\,000 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$.
- Zóna b – c: Vřetenová kosoúhlá ložiska s kontaktním úhlem $\alpha = 15^\circ$ až 25° ,
součinitel $DN \leq 2 \cdot 10^6 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$.
- Zóna c – d: Jednořadá a dvouřadá válečková ložiska.
Přímka c: Ložiska s drahami pro válečky ve vnitřním kroužku,
součinitel $DN \leq 10^6 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$.

Přímka d: Ložiska s drahami pro válečky ve vnějším kroužku,
součinitel $DN \leq 600\,000\text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$.

Zjištěné hodnoty průtoku oleje při ztrátovém mazání

$$Q_{z,L1} = 400\text{ mm}^3 \cdot h^{-1} \triangleq 1,111 \cdot 10^{-10}\text{ m}^3 \cdot s^{-1}$$

$$Q_{z,L2} = 84\text{ mm}^3 \cdot h^{-1} \triangleq 2,333 \cdot 10^{-11}\text{ m}^3 \cdot s^{-1}$$

$$Q_{z,L3} = 92\text{ mm}^3 \cdot h^{-1} \triangleq 2,555 \cdot 10^{-11}\text{ m}^3 \cdot s^{-1}$$

Ložisko L1 je ve vřeteníku dvakrát a tato dvojice bude mazána jako pár. Proto průtok $Q_{z,L1}$ zdvojnásobím a dostanu hodnotu:

$$Q_{z,L1} = 2 \cdot 1,111 \cdot 10^{-10} = 2,222 \cdot 10^{-10}\text{ m}^3 \cdot s^{-1}$$

3.2 Určení mazací dávky

Zjištěné hodnoty průtoků oleje $Q_{z,L}$ jsou určeny pro ztrátové mazání olejem bez vzduchu, pro zjištění spotřeby oleje pro mazání směsí oleje a vzduchu musím tyto hodnoty vynásobit koeficientem k , jenž vychází ze zkušeností firmy KOMA – Servis, s.r.o. Ten zahrnuje snížení průtoku oleje na nejmenší možnou mez, kdy je ještě ložisko dostatečně mazáno, ale neplývá se olejem, což je u ztrátového mazání důležité.

Průtok oleje při mazání směsí oleje se vzduchem

Koeficient snížení průtoku: $k = 0,1$

$$Q_{L1} = k \cdot Q_{z,L1} = 0,1 \cdot 2,222 \cdot 10^{-10} = 2,222 \cdot 10^{-11}\text{ m}^3 \cdot s^{-1} \triangleq 80\text{ mm}^3 \cdot h^{-1} \quad (2.1)$$

$$Q_{L2} = k \cdot Q_{z,L2} = 0,1 \cdot 2,333 \cdot 10^{-11} = 2,333 \cdot 10^{-12}\text{ m}^3 \cdot s^{-1} \triangleq 8,4\text{ mm}^3 \cdot h^{-1} \quad (2.2)$$

$$Q_{L3} = k \cdot Q_{z,L3} = 0,1 \cdot 2,555 \cdot 10^{-11} = 2,555 \cdot 10^{-12}\text{ m}^3 \cdot s^{-1} \triangleq 9,2\text{ mm}^3 \cdot h^{-1} \quad (2.3)$$

Počet mazacích dávek n_c

Při kapénkovém mazání nedochází ke kontinuálnímu vstřikování mazacího oleje, ten je do směšovací jednotky dopravován v pravidelných cyklech. Podle firmy SKF se běžně volí množství šest až deset dávek za hodinu.

Volím osm dávek za hodinu, tomu odpovídá $n_c = 2,222 \cdot 10^{-3} \text{ s}^{-1}$.

Ze zkušeností firmy KOMA - Servis, s.r.o. jsem zjistil, že objem dávky V_d nelze spočítat pouhým podílem hodinového průtoku oleje počtem dávek za hodinu. Hodinový průtok musím brát jako aritmetický průměr dávek, kdy dochází ke vstřikování oleje a dávek, kdy nedochází ke vstřikování (do ložiska proudí pouze čistý tlakový vzduch). Budu proto brát v úvahu osm dávek oleje a osm neexistujících (prázdných) dávek.

Z úvahy aritmetického průměru jsem odvodil tento vztah:

$$Q_L = \frac{n_c \cdot V_d + n_c \cdot 0}{2} \quad (2.4)$$

Ze vzorce (2.4) jsem vyjádřil objem dávky V_d :

$$V_d = \frac{2 \cdot Q_L}{n_c} \quad (2.5)$$

Po dosazení průtoků Q_L do (2.5) určím objemy mazací dávky pro ložiska:

$$V_{d1} = \frac{2 \cdot 2,222 \cdot 10^{-11}}{2,222 \cdot 10^{-3}} = 2,000 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3 \triangleq 20 \text{ mm}^3$$

$$V_{d2} = \frac{2 \cdot 2,333 \cdot 10^{-12}}{2,222 \cdot 10^{-3}} = 2,099 \cdot 10^{-9} \text{ m}^3 \triangleq 2,1 \text{ mm}^3$$

$$V_{d3} = \frac{2 \cdot 2,555 \cdot 10^{-12}}{2,222 \cdot 10^{-3}} = 2,299 \cdot 10^{-9} \text{ m}^3 \triangleq 2,3 \text{ mm}^3$$

Pro mazání ložisek L2 a L3 jsem jako směšovací ventil použil typ MV 502 s vnitřním odměřováním, jenž má výrobní objem dávky roven 2 mm^3 . Proto $V_{d2} = V_{d3} = 2 \text{ mm}^3$. Naopak pro mazání ložisek L1 jsem použil ventil MV201-20 s dávkou 20 mm^3 , proto se hodnota nemění.

Výsledná spotřeba oleje všech ložisek bude:

$$Q_{OLEJ} = n_c \cdot V_{d_1} + n_c \cdot V_{d_2} + n_c \cdot V_{d_3} = n_c \cdot V_{d_1} + 2 \cdot n_c \cdot V_{d_2} \quad (2.6)$$

$$Q_{OLEJ} = 2,222 \cdot 10^{-3} \cdot 2,0 \cdot 10^{-8} + 2 \cdot 2,222 \cdot 10^{-3} \cdot 2,0 \cdot 10^{-9}$$

$$Q_{OLEJ} = 5,333 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \triangleq 191,98 \text{ mm}^3 \cdot \text{hod}^{-1}$$

3.3 Průtok nosného vzduchu

Firma SKF uvádí rozsah tlaku vzduchu pro systém oleje a vzduchu $0,3$ až $1 \cdot 10^6 \text{ Pa}$, volím proto tlak vzduchu $p_{vz} = 6 \cdot 10^5 \text{ Pa} = 6 \text{ bar}$.

Celkovou spotřebu vzduchu mazacího systému určím ze součtu průtoků vzduchu na jednotlivých tryškách. V daném vřeteníku (příloha A) proudí směs oleje a vzduchu z trysek do rozvodných kroužků (přílohy B, C, D), aby se zajistilo rovnoměrnější dodávání směsi do ložisek (pro vnější průměr ložiska $D \geq 150 \text{ mm}$). Polohu vstřikovacích otvorů jsem určil z katalogu č. 6002 EN (Precizní ložiska) firmy SKF. U válečkových ložisek L2 a L3 jsou po obvodu těchto kroužků (přílohy C a D) umístěny tři vstřikovací otvory o světlosti $d_o = 0,002 \text{ m}$ směrem k ložisku. Při tvorbě výkresů uvedených v přílohách A až E jsem vycházel z podkladů firmy KOMA – Servis, s.r.o.

Celkový průřez všech otvorů jednoho kroužku u ložisek L2 a L3 pak bude:

$$S_{o2,3} = 3 \cdot \pi \cdot \frac{d_o^2}{4} = 3 \cdot \pi \cdot \frac{0,002^2}{4} = 9,425 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \quad (2.7)$$

kde: d_o je světlost každého vstřikovacího otvoru v kroužku [m]

Z průřezu $S_{o2,3}$ určím přibližnou světlost trysky $d_{p2,3}$ pro ložiska L2 a L3:

$$d_{p2,3} = \sqrt{\frac{4 \cdot S_{o2,3}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 9,425 \cdot 10^{-6}}{3,141592}} = 3,464 \cdot 10^{-3} \text{ m} \triangleq 3,46 \text{ mm} \quad (2.8)$$

Rozhodl jsem se použít trysky FullJet 1/4 HH – SS firmy Spraying Systems Co., jež mají světlost $d_t = 0,0036 \text{ m}$. Této světlosti a tlaku vzduchu 6 bar odpovídá průtok $Q_{t2,3} = 2,383 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \triangleq 14,3 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$.

Pro mazání páru kosoúhlých ložisek je použit jeden kroužek s celkem šesti otvory (příloha B), tento pár však budu uvažovat jako jedno dvouřadé ložisko a průtok vzduchu bude stejný jako u válečkových ložisek:

$$Q_{t1} = Q_{t2,3} = 2,383 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \triangleq 14,3 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$$

Celkový průtok vzduchu vstupující do mazacího zařízení

$$Q_{c,vz} = Q_{t1} + Q_{t2} + Q_{t3} = 3 \cdot Q_{t1} \quad (2.9)$$

$$Q_{c,vz} = 3 \cdot 2,383 \cdot 10^{-4} = 7,15 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \triangleq 42,9 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$$

Přepočet na normální technické podmínky

- teplota $t_N = 20 \text{ °C}$, tlak $p_N = 100\,000 \text{ Pa}$

Pro určení absolutního tlaku p_{abs} budu uvažovat barometrický tlak $p_{\text{bar}} = 101200 \text{ Pa}$. Uvažuji teplotu stlačeného vzduchu $t_{vz} = 25 \text{ °C}$.

$$Q_{n,vz} = \frac{Q \cdot p_{\text{ABS}} \cdot T_N}{p_N \cdot T} = \frac{Q_{c,vz} \cdot (p_{\text{bar}} + p_{vz}) \cdot (273,15 + t_N)}{p_N \cdot (273,15 + t_{vz})} \quad (2.10)$$

$$Q_{n,vz} = \frac{7,15 \cdot 10^{-4} \cdot (101200 + 6 \cdot 10^5) \cdot (273,15 + 20)}{1 \cdot 10^5 \cdot (273,15 + 25)} = 4,93 \cdot 10^{-3} m_N^3 \cdot s^{-1}$$

$$Q_{n,vz} \triangleq 295,77 dm_N^3 \cdot min^{-1}$$

Vypočtená hodnota spotřeby vzduchu $Q_{n,vz}$ je orientační a je nutné při uvádění do provozu mazacího zařízení kontrolovat teploty ložisek a případně velikost průtoků vzduchu změnit pomocí změny tlaku na redukčním ventilu.

4 FUNKČNÍ SCHÉMA MAZACÍHO SYSTÉMU

4.1 Popis obvodu

Na obr. 2.5 na straně 38 je zobrazeno funkční schéma mazacího systému. Tvoří jej tři hlavní části: mazací agregát MA (pohonný elektromotor M, zubový hydrogenerátor HG, pojistný ventil PV1, snímač hladiny oleje v nádrži SH, plnicí hrdlo nádrže PH, tlakový spínač oleje TSO, odlehčovací rozváděč OR, jednosměrný ventil JV a plastová nádrž N), jednotka pro úpravu stlačeného vzduchu (redukční ventil RV, vzduchový filtr VF, analogový manometr MN, tlakový spínač TS) a směšovací bloky SB1 a SB2. Dále je zde pojistný ventil PV2 a olejový filtr OF.

Použitý mazací agregát od firmy SKF je na obr. 2.4 na následující straně.

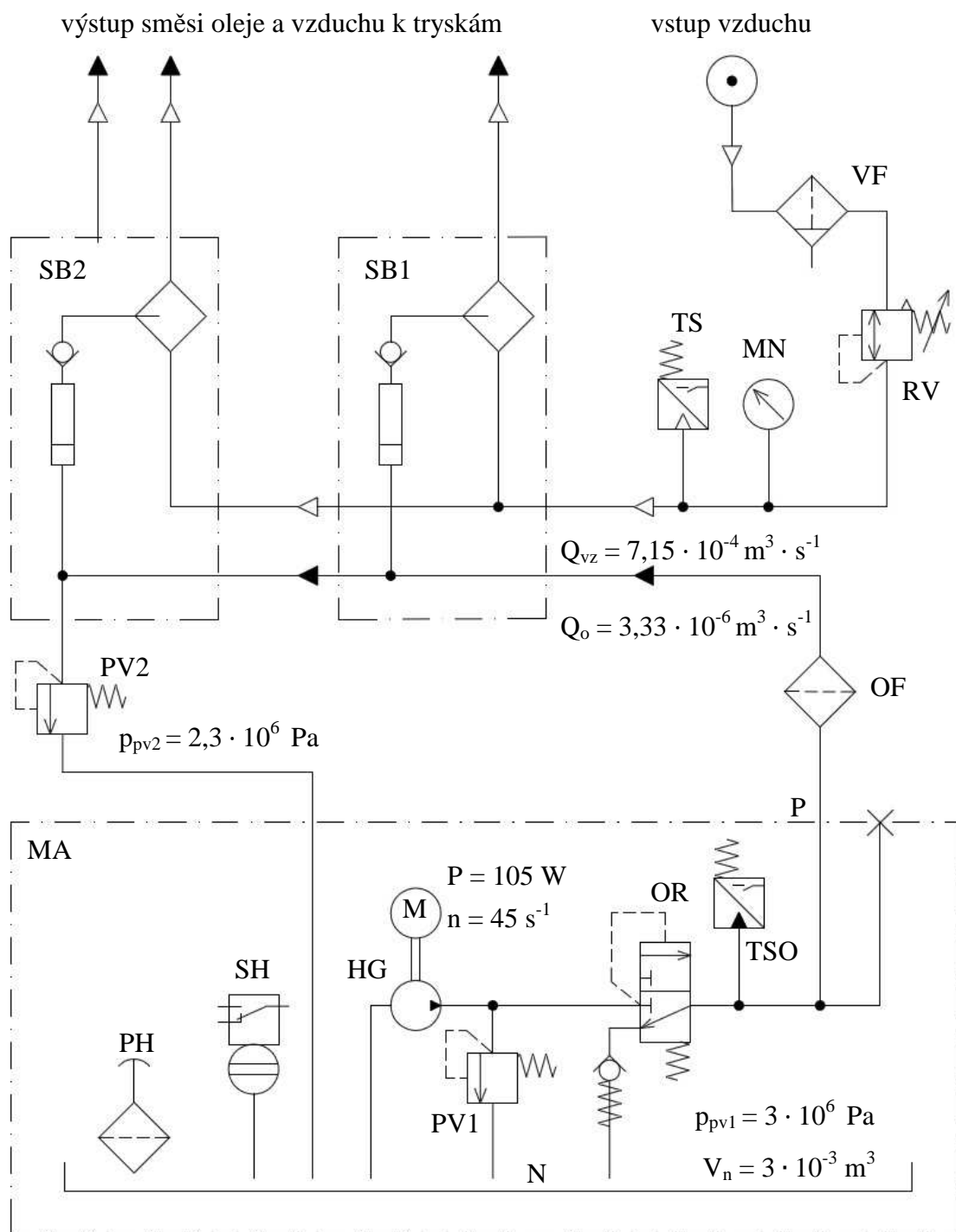
4.2 Popis funkce mazacího systému

Po připojení mazacího přístroje ke zdroji tlakového vzduchu, nastavení potřebného tlaku vzduchu na redukčním ventilu RV, naplnění nádrže olejem, nastavení mazací periody na vestavěné elektronické řídicí jednotce a spuštění mazacího přístroje vytvoří hydrogenerátor (dále jen HG) tlak oleje na vstupu do odlehčovacího rozváděče (dále jen OR), ten se ihned přestaví a olej skrze něj začne proudit do olejového filtru OF a dále do směšovacích bloků SB1 a SB2. Skrze tyto bloky taktéž proudí nepřetržitě tlakový vzduch a

chladí ložiska. Tlakový olej způsobí přestavení šoupátek v dávkovačích směšovacích bloků a následkem toho jsou do směšovacích komor dopravena daná množství maziva. Mazivo se vlivem proudícího vzduchu roztáhne po vnitřních plochách vedení (hadic) a je dopravováno k mazaným místům. Ihned po přestavení šoupátek naroste tlak za OR a tlakový spínač oleje TSO vypne HG. Tlak oleje před OR poklesne a OR se přestaví do původní polohy. Šoupátka v dávkovačích se přesunou do výchozí polohy a naplní se olejem. Celý cyklus je opět na začátku a po nastavené době se může opakovat.



Obr. 2.4 Mazací agregát MKU2 – KW3 (SKF)



Obr. 2.5 Schéma mazacího systému

SB1 – směšovací blok MV201-20, SB2 – směšovací blok MV502, MA – Mazací agregát, VF – filtr vzduchu, RV – redukční ventil, MN – analogový manometr, TS – tlakový spínač vzduchu, PV1 – pojistný ventil 1, PV2 – pojistný ventil 2, TSO – tlakový spínač oleje, P – výstup tlakového oleje z čerpací jednotky, HG – zubový hydrogenerátor, M – pohonný elektromotor, SH – snímač výšky hladiny, PH – plnicí hrdlo nádrže, N – olejová nádrž, OR – odlehčovací rozváděč

5 SPECIFIKACE PRVKŮ

Mazací agregát MA

Výrobce:	SKF	
Typ:	MKU2 – KW3 – 22001	
Parametry:	elektromotor:	105/125 W (50/60 Hz)
	napájecí napětí, otáčky:	230/115 V, 45/55 s ⁻¹
	maximální průtok oleje:	$3,33 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
	Objem olejové nádrže:	$3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$
	Pracovní viskozita oleje:	$(20 \div 1000) \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
	Pracovní tlak oleje:	30 +1/-2 bar
	Olej kompatibilní s NBR pryží, mědí a jejími slitinami	

Směšovací blok SB1

Výrobce:	SKF	
Typ:	MV201-20	
Parametry:	Objem dávky:	$2 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3$
	Tlak vzduchu:	$(3 \div 10) \cdot 10^5 \text{ Pa}$
	Pracovní viskozita oleje:	$(20 \div 400) \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$

Směšovací blok SB2

Výrobce:	SKF	
Typ:	MV502	
Parametry:	Objem dávky:	$2 \cdot 10^{-9} \text{ m}^3$
	Tlak vzduchu:	$(3 \div 10) \cdot 10^5 \text{ Pa}$
	Pracovní viskozita oleje:	$(20 \div 400) \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$

Tlakový spínač vzduchu TS

Výrobce:	SKF	
Typ:	176 – 271 – 000	
Parametry:	Spínací tlak:	$(1 \div 10) \cdot 10^5 \text{ Pa}$

Redukční ventil RV

Výrobce:	SKF	
Typ:	membránový, 231 – 900 – 028	

Parametry:	Tlak na vstupu:	$(0 \div 16) \cdot 10^5 \text{ Pa}$
	Tlak na výstupu:	$(0,5 \div 10) \cdot 10^5 \text{ Pa}$

Olejobý filtr OF

Výrobce:	SKF
Typ:	169 – 460 – 260 – V57
Parametry:	velikost NG 40
	filtrace: 3 μm

Vzduchový filtr VF

Výrobce:	FESTO	
Typ:	MS4 – LF – 1/4 – C – U – M	
Parametry:	filtrace:	5 μm

Mazací olej

Výrobce:	Total		
Typ:	Carter EP 68		
Parametry:	kinematická viskozita při 40 °C:	68,1·10 ⁻⁶	m ² · s ⁻¹
	hustota při 15 °C:	0,885	kg · m ⁻³
	bod vzplanutí:	230	°C

Tento olej jsem zvolil, protože jej výrobce doporučuje při mazání rozstříkem nebo olejovou mlhou a při použití vysokotlakých aditiv EP. Zároveň splňuje požadavky firmy SKF. Olej je odolný vůči vlastní oxidaci a degradaci, a vůči pění a vytváření emulzí.

6 ZÁVĚR

V bakalářské práci jsem se zabýval problematikou mazání směsí oleje a vzduchu. Uvedl a vysvětlil jsem problematiku použití jak olejové mlhy, tak kapénkového mazání. Porovnal jsem jejich výhody a nevýhody hlavně z ekologického hlediska. Uvedl jsem příklady olejů vhodných k těmto způsobům mazání.

Pro daný vřeteník jsem určil potřebné mazací dávky z grafu pro ztrátové mazání a tyto hodnoty upravil pro mazání směsí oleje a vzduchu. Poté jsem podle sestavného výkresu vřeteníku určil průtoky nosného vzduchu a potřebné trysky při daném tlaku. Jelikož je využit maximální průtok vzduchu tryskou při určitém tlaku, je možno průtok vzduchu v případě potřeby regulovat změnou tlaku na redukčním ventilu.

Při volbě mazacího přístroje jsem se rozhodl pro systém kapénkového mazání OLA od firmy SKF. Jedná se o automatický, centralizovaný, mazací systém s možností elektronického naprogramování dávek.

7 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] PAVLOK, B., ŠTÁVA, P. *Mazací technika*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2006. 76 s. Fakulta strojní. ISBN 80 – 248 – 1000 – X.
- [2] Khonsari, M., Booser, E. Guidelines for Oil Mist Lubrication. *Machinery Lubrication Magazine*, September 2005, vol. 7, no. 9. Dostupný z:
<<http://www.machinerylubrication.com>>.
- [3] Mang, T., Dresel, W. Biodegradable Oils - How to Apply and Maintain. *Machinery Lubrication Magazine*, July 2003, vol. 5, no. 7. Dostupný z:
<www.machinerylubrication.com>.

Firemní literatura: Špondr CMS, FAG Kugelfischer Georg Schäfer AG, United States of Department of Labor, WILLY VOGEL Aktiengesellschaft, Bijur Delimon, SKF, Lincoln, Spraying Systems Co.

Internetové zdroje: www.alemite.com (americká firma Alemite)
www.tribotec.cz (česká firma Tribotec)
www.dropsa.com (americká firma Dropsa)
www.hennlich.cz (česká pobočka firmy Hennlich)
gww.graco.com (české stránky firmy Graco)
www.mql.it (italská firma MWM Schmieranlagen)

8 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A – Výkres montážní sestavy vřeteníku, formát A3, číslo výkresu KOS376-01

Příloha B – Výrobní výkres rozváděcího kroužku ložisek L1, formát A4, číslo výkresu KOS376-02

Příloha C – Výrobní výkres rozváděcího kroužku ložiska L2, formát A4, číslo výkresu KOS376-03

Příloha D – Výrobní výkres rozváděcího kroužku ložiska L3, formát A4, číslo výkresu KOS376-04

Příloha E – Kusovník k příloze A, formát A4, číslo výkresu KOS376-01K

Tímto bych chtěl poděkovat panu doc. Ing. Bohuslavu Pavlokoví, CSc. za laskavou pomoc, podněty a rady při tvorbě této bakalářské práce, a panu Ing. Janu Soustružníkovi z firmy KOMA – Servis, s.r.o. za cenné připomínky a vstřícný přístup.